

Tartu Ülikool  
Loodus- ja täppisteaduste valdkond  
Ökoloogia ja maateaduste instituut  
Geoloogia osakond

Marlen Hunt

**Tallinna-Helsinki võimalike tunnelitrasside  
hüdrogeoloogiline analüüs lähtudes 3D-mudelist**

Bakalaureusetöö keskkonnatehnoloogias (12 EAP)

Juhendajad: Maile Polikarpus, MSc  
Enn Karro, PhD  
Andres Marandi, PhD

Kaitsmisele lubatud:

Juhendaja:

Tartu 2019

## **Tallinna-Helsinki võimalike tunnelitrasside hüdrogeoloogiline analüüs lähtudes 3D-mudelist**

Põhja-Eestisse kavandatakse Tallinna-Helsinki raudteetunnelit, mis asuks kuni 150 m sügavusel maapõues. Maapõue rajatava tunneli mõju põhjaveele on vajalik uurida nii veevarustuse kui ka veekaitse seisukohalt. Töö eesmärk on luua 3D-mudel Tallinna-Helsinki tunnelitrajektooride hüdrogeoloogilise ehituse kirjeldamiseks Eesti territooriumil ja selle abil välja selgitada erinevate tunnelitrasside ehitustöödest enim mõjutatavad puurkaevud. Loodud 3D-mudel koosneb seitsmest interpoleeritud rasterkihist, mis esindavad peamisi vettandvate ja vettpidavate hüdrogeoloogiliste üksuste, reljeefi, aluspõhja ja aluskorra lasuvaid piirpindu. Mudelisse on lisatud ka uuringualal paiknevad puurkaevud, nende avatud osade asukohad, veehaarete projekteeritud sanitaarkaitsealad ja tunnelitrasside võimalikud kulgemistrajektoolid maapõues. Samuti loodi hüdrogeoloogilised läbilõiked piki trajektoore.

**Märksõnad:** 3D-mudel, QGis, hüdrogeoloogia, Tallinna-Helsinki raudteetunnel

**CERCS kood:** P470 – Hüdrogeoloogia, geoplaneering ja ehitusgeoloogia

## **Hydrogeological analysis of potential Tallinn-Helsinki tunnel routes based on the 3D model**

The Tallinn-Helsinki railway tunnel is planned to be constructed in northern Estonia, which will be located at a depth of up to 150 m in the ground. The possible impact of the tunnel on groundwater should be examined for both water supply and water protection purposes. The aim of the work is to create a 3D model in order to describe the hydrogeological structure of Tallinn-Helsinki tunnel routes and to identify the drilled wells most affected by the construction of different tunnel routes. The created 3D model consists of seven interpolated raster layers that represent the ground relief and topography of bedrock, basement rock and main aquifer and aquitards in study area. The groundwater abstraction and monitoring wells with their opening intervals and sanitary protection zones as well as possible trajectories of tunnel routes are also integrated into the model. Hydrogeological cross-sections were also created along the probable tunnel trajectories.

**Keywords:** 3D model, QGis, hydrogeology, Tallinn-Helsinki railway tunnel

**CERCS code:** P470 – Hydrogeology, geographical and geological engineering

# Sisukord

Sissejuhatus .....	4
1. Teoreetiline taust .....	5
1.1 Tallinna-Helsinki tunnel .....	5
1.2 Uuringuala geoloogiline kirjeldus .....	5
1.3 Seadusandlus .....	9
2. Andmed ja metoodika.....	10
2.1 3D-mudel.....	10
2.1.1 Andmete ettevalmistus .....	11
2.1.2 Rasterpindade interpoleerimine ja 3D-mudeli loomine.....	11
2.1.3 Andmevigade töötlemine.....	12
2.2 Tunnelitrassid .....	16
3. Tulemused ja arutelu .....	18
3.1 3D-mudel.....	18
3.2 Tunnelitrasside analüüs .....	21
Kokkuvõte .....	29
Hydrogeological analysis of potential Tallinn-Helsinki tunnel routes based on the 3D model .....	30
Tänuavaldused.....	32
Kasutatud kirjandus .....	33

## Sissejuhatus

Tallinnas elab 2018. aasta seisuga 31% Eesti elanikkonnast, 2040. aastaks kasvab see prognoositavalt 35%-ni (Statistikaamet 2014). Linnastumine toob endaga kaasa suureneva joogivee nõudluse piiratud maa-alal ja sellest tulenevalt ka intensiivsema põhjavee kasutamise. Näiteks on Lääne- ja Ida-Euroopas ning Vahemere maades 40% tarbitavast veevarust pärit linnaalustest põhjaveekihtidest. (Eiswirth *et al.* 2003) Lisaks liigsele veetarbimisele ohustab linnastunud maa-aladel põhjavett ka suurem reostumisoht, mis tuleneb võimalikest linnakeskkonnas esinevatest arvukatest saasteallikatest (Vázquez-Suñé *et al.* 2005).

Põhjavee looduslikku veetaset ja kvaliteeti võivad linnastunud piirkondades mõjutada ka erinevad maa-alused ehitised (maa-alused raudteesüsteemid, keldrid, maa-alused parkimisalad jne) (*ibid*). Minimaliseerimaks maa-aluste ehitiste rajamisel ja kasutamisel kaasnevat mõju põhjaveetasemele ja kvaliteedile, tuleb projekteerimise ja ehitamise käigus arvesse võtta hüdrogeoloogilisi tingimusi ja puurkaevude asukohti rajatise piirkonnas (*Helsinki-Tallinn Transport ...* 2018).

Bakalaureusetöö eesmärk on luua 3D-mudel Tallinna-Helsinki tunnelitrajektooride hüdrogeoloogilise ehituse kirjeldamiseks Eesti territooriumil paiknevate trassikoridoride piires ja selle abil välja selgitada erinevate tunnelitrasside ehitustöödest enim mõjutatavad puurkaevud.

Bakalaureusetöös käsitletakse uuringuala, mis paikneb Põhja-Eestis, Viimsi ja Paljassaare poolsaare piirkonnas. Loodud 3D-mudel koosneb seitsmest interpoleeritud rasterkihist, mis esindavad peamisi vettandvate ja vettpidavate hüdrogeoloogiliste üksuste, reljeefi, aluspõhja ja aluskorra lasuvaid piirpindu. Mudelisse on lisatud ka uuringualal paiknevad puurkaevud ja nende avatud osade asukohad ning veehaarete projekteeritud sanitaarkaitsealad. Samuti lisati mudelisse tunnelitrasside võimalikud kulgemistrajektoolid maapõues ja loodi hüdrogeoloogilised läbilõiked piki trajektoore.

# 1. Teoreetiline taust

## 1.1 Tallinna-Helsinki tunnel

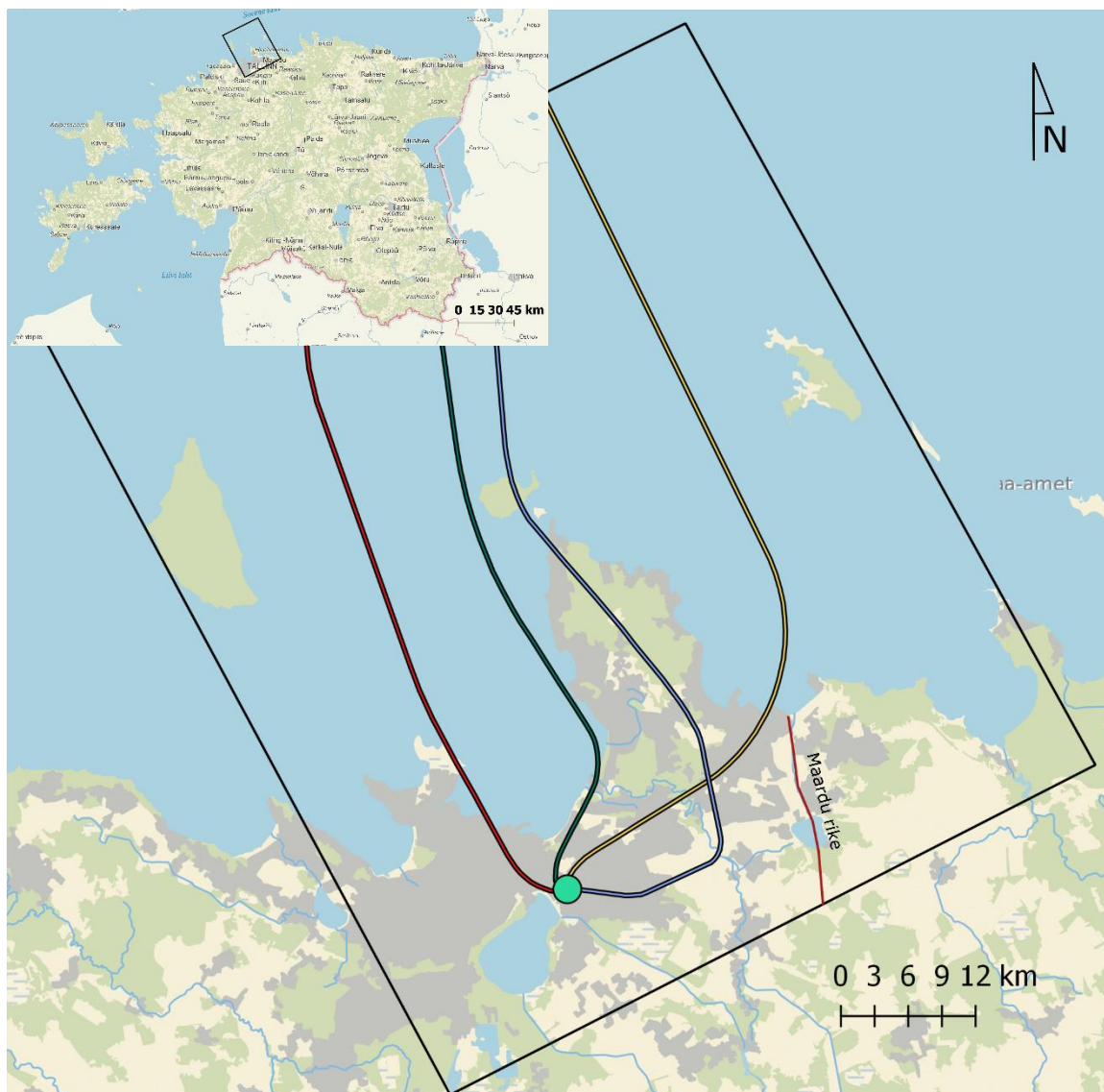
Tallinna-Helsinki tunnel on Eesti ja Soome vahele planeeritav raudteetunnel, mis kulgeb Soome lahte alt ning ühendab omavahel Helsinki Vantaa lennujaama Tallinna lennujaamaga. Planeeritava tunneli kogupikkuseks on olenevalt tunnelitrassi valikust 90–120 km, Eesti territooriumile jääb sellest 45–55 km. Tunneli üldiseks sügavuseks on –100 kuni –200 m ü.m.p, Eesti alal –30 kuni –150 m ü.m.p. (Taotlus hoonestusloa ... 2018)

Finest Bay Area Development OÜ poolt esitatud hoonestusloa ja riikliku eriplaneeringu menetluste algatamise taotlustes on välja toodud neli võimalikku raudteetunneli trassi: Finest Bay Area (VE1a, VE1b ja VE1c) ja FinEst Link (VE2) (Joonis 1). Tunneli trajektoovid erinevad oma asukoha ja tehniliste lahenduste poolest. VE1 tunnelitrassid koosnevad kahest 17,4 meetrilise läbimõõduga torust ja VE2 korral ehitatakse kaks kümnemeetrise diameetriga raudtee ning üks kaheksameetrise läbimõõduga hooldus- ja päästetöödeks mõeldud tunnelitoru. (Taotlus hoonestusloa ... 2018; Taotlus riigi ... 2018)

Tunneli ehitamiseks on plaanis kasutada nii puurimis-lõhkamis-meetodit kui ka TBM-meetodit (*Tunnel Boring Machine*). TBM tehnoloogia on sobilik ka geotehniliselt keeruliste olude korral, mille põhjustab Eesti territooriumil füüsikalise-mehaaniliselt erinevate geoloogiliste kihtide vaheldumine. TBM puhul on eeliseks veel kaks kuni kolm korda suurem läbindamiskiirus võrreldes puurimis-lõhkamis-meetodiga, väiksemad mõjud on ka ümbritsevale keskkonnale. TBM-meetodi korral ei toimu põhjavee välja pumpamist, vaid veerõhk tasakaalustatakse puurimise ajal sururõhuga. Üheaegselt läbistamisega toimub tunneli toestamine. Selleks kasutatakse varasemalt valatud betoonisegmente, mille valmistamisel on arvesse võetud mäe- ja veerõhku. Segmendid ühendatakse tihenditega, et tagada veekindlus kuni 20 bar rõhu korral. (*Digging The Finest* ... 2018; Taotlus riigi ... 2018; Vinni 2018)

## 1.2 Uuringuala geoloogiline kirjeldus

Uuringuala asub Põhja-Eestis, hõlmates Viimsi, Kopli ja Paljassaare poolsaari ning Muuga lahte, kuhu on kavandatud neli Tallinna-Helsinki raudteetunneli trassialternatiivi (Joonis 1).



**Joonis 1.** Uuringuala paiknemine. Musta piirjoonega on märgitud uuringuala, punase (VE1a), rohelise (VE1b), kollase (VE1c) ja sinise (VE2) joonega on märgitud erinevad Tallinna-Helsinki tunneli trassialternatiivid ning rohelise ringina lõppjaama asukoht. Välja on toodud Maardu rikke paiknemine, taustaks Maa-ameti kaart.

Uuringuala jääb Ida-Euroopa kraatonil paikneva Vene settelava loodepiirile, kus tard- ja moondekivimid moodustavad kristalse aluskorra, mida enamasti katab settekivimitest koosnev pealiskord, ja Balti kilbi kagupiirile. Pealiskorra paksus suureneb settekivimite levilapiirist kuni 150 meetrini uuringuala lõunaosas. Maardu rike on ainuke alale jääv lasuvusrike, mis on kindlaks tehtud (Joonis 1). (Suuroja jt 2002a; 2002b; 2003)

Pealiskorra moodustavad Ediacara, Kambriumi ja Ordoviitsiumi ladestu settekivimid. Ediacara ladestu Kotlini lademe moodustavad purdkivimid (liivakivid, savid, aleuroliidid), mis lasuvad aluskorra murenemiskoorikul (Tabel 1). Osaliselt on Kotlini lade eraldatud uuringualal Gdovi,

Kotlini ja Voronka kihistuks. Gdovi kihistu koosneb pisi- kuni keskteralisest, nõrgalt kuni keskmiselt tsementeerunud liivakivist, milles esinevad kohati kirjuvärvilised savika aleuroliidi vahekihid. Voronka kihistu moodustab Ediacara ladestu ülaosa, mis koosneb aleuroliidi ja aleuriitsavi vahekihtidega kvartsliaivakivist. (Suuroja jt 2003)

Ediacara ladestu koos Kambriumi ladestu Terre-Neuve ladestiku Lontova kihistu Sämi kihistikuga moodustab Kambriumi-Vendi (Ca-V) veekompleksi. Ca-V veekompleks jaguneb kohati ülemiseks Voronka ja alumiseks Gdovi veekihtiks, mida eraldab aleuroliidist ja savist koosnev Kotlini suhteline veepide. Voronka veekihi moodustavad Sämi kihistiku ja Voronka kihistu liivakivid, Gdovi veekiht koosneb Gdovi kihistu liivakividest. (Savitskaja ja Savva 2008)

Uuringualal esinev Kambriumi ladestu koosneb purdkivimitest (liivakivid, aleuriidid, savid) ning jaguneb Lontova, Lükati, Tiskre ja Ülgase kihistuks. Lontova kihistu on esindatud sinisavina ehk rohekashalli kuni kirjuvärvilise argilliidilaadse savina, mis mõningal määral sisaldab aleuriiti ja liiva. Sinisavilasundi ülaosa moodustab Lükati kihistu, mis koosneb rohekashallist aleuriitsavist aleuroliidi või pisiteralise kvartsliaiva vahekihtidega. Lontova ja Lükati kihistute savid moodustavad Lükati-Lontova ( $\text{Ca}_{1\text{lk}}\text{-ln}$ ) veepideme. (Suuroja jt 2002a; 2003)

Tiskre kihistut iseloomustab monotoone kvartsaleuroliit või -liivakivi, milles esineb kohati kihistu alaosas rohekashalli, glaukoniiti sisaldava savika aleuroliidi vahekihte. Ülgase kihistu moodustub peen- kuni pisiteralisest kvartsliaivakivist. (Suuroja jt 2002a)

Ordoviitsiumi ladestu Alam-Ordoviitsiumi ladestik koosneb Pakerordi, Varangu ja Hunnebergi ladest, milles omakorda on võimalik eristada nelja kihistut: Kallavere, Türisalu, Varangu ja Leetse. Kallavere kihistut iseloomustab oobulusliivakivi ehk fosforiit ning kihi ülaosas paiknev püriidikiht. Mustast kildast ehk kerogeensest argilliidist koosneb Türisalu kihistu. Varangu kihistu, mis kuulub samanimelisse lademesse, moodustub glaukoniidirikast hallist bentoniitsavist. Hunnebergi lademesse kuuluv Leetse kihistut iseloomustab glaukoniitliivakivi. (Suuroja jt 2003)

Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Ca) veekompleksi moodustavad Ordoviitsiumi ja Kambriumi ladestu Kallavere, Ülgase ja Tiskre kihistute liivakivid (Suuroja jt 2002a).

Kesk-Ordoviitsiumi ladestik on esindatud karbonaatkivimitega ja jaotub kuueks lademeks Billingeni, Volhovi, Kunda, Aseri, Lasnamäe ja Uhaku, mis omakorda jagunevad kihistuteks: Toila (rohekashall glaukoniiti sisaldav lubjakivi), Sillaoru (hall keskmiselt kuni tugevalt savikas

detriidikas ooidlubjakivi), Loobu (hall puhas kuni nõrgalt savikas lubjakivi, mis on kohati dolomiidistunud), Aseri (hall nõrgalt savikas raudooide sisaldav lubjakivi), Vão (valkjashall detriitjas kuni detriitne Lasnamäe ehituspaeaks nimetatav lubjakivi) ja Kõrgekalda (nõrgalt kuni keskmiselt savikas keskmiselt lainjaskihiline kuni poolmuguljas pisikristalne lubjakivi). Uuringualal lõunaosas esineb mõningal määral ka Ülem-Ordoviitsiumi ladestikku kuuluvat Kukruse ja Haljala lademe lubjakivi. (Suuroja jt 2003)

Ordoviitsiumi (O) veekompleks levib kogu uuringuala ulatuses, hõlmates Ülem-Ordoviitsiumi ladestiku ja osaliselt Kesk-Ordoviitsiumi ladestiku karbonaatkivimeid. Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide koosneb Alam-Ordoviitsiumi ladestiku Varangu kihistu savidest ja Türisalu kihistu mustast kildast ning Kesk-Ordoviitsiumi ladestiku Toila kihistu glaukoniitlubjakividest koos lamamiks oleva glaukoniitliivakiviga. (Savitskaja ja Savva 2008; Suuroja jt 2002a)

**Tabel 1.** Uuringuala stratigraafiline ja hüdrostratigraafiline skeem (Keskkonnaamet 2015; Suuroja jt 2002a).

Ladestu	Ladestik	Lade	Kihistu	Põhjaveekompleks	Veekiht/veepide	
Ordoviitsium	Ülem-Ordoviitsium	Haljala	Tatruse ja Vasavere	Ordoviitsumi (O)	Liigestamata, Ordoviitsiumi (O) põhjaveekihid	
		Kukruse	Viivikonna			
	Kesk-Ordoviitsium	Uhaku	Kõrgekalda			Vão
		Lasnamäe				
		Aseri	Aseri, Loobu, Sillaoru ja Toila			
		Kunda				
		Volhovi				
		Alam-Ordoviitsium	Billingen		Leetse ja Varangu	
	Hunneberg Varangu					
	Pakerordi		Türisalu			
	Kallavere					
Kambrium	Furong		Ülgase	Ordoviitsiumi-Kambriumi (O-Ca)	Lükati-Lontova veepide (Ca <sub>1</sub> lk–ln)	
	Ladestik 2	Dominopol	Tiskre			
	Terre-Neuve	Lontova	Lükati	Kambriumi-Vendi (Ca-V)	Voronka (V <sub>2</sub> vr)	
			Lontova			
			Lontova kihistu Sämi kihistik			
Ediacara (Vend)		Kotlini	Voronka		Kotlini veepide (V <sub>2</sub> kt)	
			Kotlin			
			Gdov			
Proterosoikum (PR)	Aluskord					



### 1.3 Seadusandlus

Tallinna-Helsinki trassialternatiivid lõikuvad erineva arvu puurkaevude ja puurkaevudele määratud sanitaarkaitsealadega. Sanitaarkaitsealad moodustatakse, et kaitsta põhjaveekihi vältimiseks vee kvaliteeti. Puurkaevu sanitaarkaitseala piires on kitsendatud liikumine ning ehitustegevus. Veehaarde sanitaarkaitseala moodustamise kord on sätestatud veeseaduse §-s 28. (Veeseadus 2019)

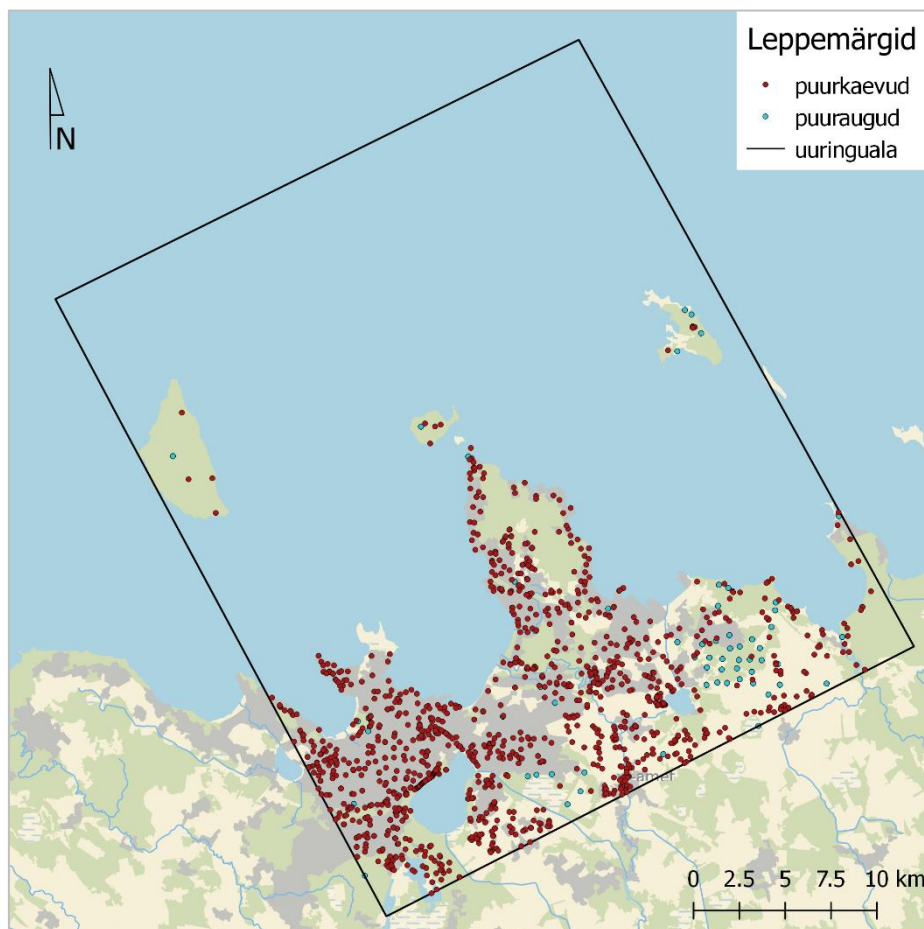
Seaduse kohaselt ei moodustata sanitaarkaitseala, kui põhjaveekihi vett võetakse vähem kui 10 m<sup>3</sup> ööpäevas ning seda ühe kinnisasja vajaduseks. Kui vett võetakse põhjaveekihi ühe puurkaevuga, on sanitaarkaitse ala ulatuseks 50 m puurkaevust. Vastavalt vajadusele võib Keskkonnaamet määrata sanitaarkaitseala laiuseks ka 10 m: 1) kui vett võetakse alla 10 m<sup>3</sup> ööpäevas ja tarbitakse kuni 50 inimese vajaduseks; 2) kui vett võetakse põhjaveekihi alla 50 m<sup>3</sup> ööpäevas ja põhjaveekiht on hästi kaitstud. Samuti võib määratud sanitaarkaitseala olla 30 m ulatuses puurkaevust, kui vett võetakse üle 10 m<sup>3</sup> ööpäevas ja põhjaveekiht on hästi kaitstud. Kuni 200 m veevõtukohast võib sanitaarkaitseala ulatuda, kui vett võetakse üle 500 m<sup>3</sup> ööpäevas. (*ibid*)

## 2. Andmed ja metoodika

### 2.1 3D-mudel

Bakalaureusetöö praktilise osas koostati 3D-mudel uuritavast alast. Mudeli loomiseks kasutati arvutiprogrammi Quantum Gis (QGis). 3D-mudel hõlmab seitset rasterkihti, mis kujutavad hüdrogeoloogiliste üksuste (Siluri-Ordoviitsiumi regionaalne veepide, Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks, Lükati-Lontova veepide, Kambriumi-Vendi veekompleks), reljeefi, aluspõhja ja aluskorra lasumite piirpindu.

Rasterpindade modelleerimiseks kasutati Maa-ameti puuaukude (Maa-amet 2018) ja EELIS puurkaevude andmebaaside punktandmeid (Joonis 2), v.a reljeefi rastermudel, mille maismaa osa loodi Maa-ameti LiDAR-andmestikul põhineval 5-meetrilise lahutusega rasterkõrgus-mudelil (Maa-amet 2018).



**Joonis 2.** Uuringualale jäävad puurkaevud (EELIS) ja puuraugud (Maa-amet 2018).

Töös kasutatud batümeetriliste mõõdistuste andmed merepõhja reljeefi kohta on saadud Veeteede Ametilt ja merealuse aluspõhja ning aluskorra samakõrgusjoonte kujutamise aluseks

on võetud Eesti Geoloogifondi aluskorra (Mardla 1995a; Suuroja jt 2012) ja aluspõhja (Mardla 1995b; Suuroja jt 2012) geoloogilised kaardid.

### **2.1.1 Andmete ettevalmistus**

Nii Maa-ameti puuraukude kui ka EELIS puurkaevude andmed on saadud tabeli formaadis (.tab). Kihtide geoloogiline vanus on antud tabelites stratigraafiliste indeksitena, mis võivad kohati andmebaaside lõikes erineda. Selleks et oleks võimalik määrata veekomplekside ja veepidemete, aluspõhja ning aluskorra kihtide piirpinnad, tuli erinevad stratigraafilised üksused klassifitseerida. Tabelis 2 on välja toodud interpoleeritavate kihtide üksuste kirjade hulk eraldi EELIS puurkaevude ja Maa-ameti puuraukude andmebaasides ja tabelis 3 on üksuste liitkirjed, mida ei olnud võimalik edasises analüüsis kasutada, kuna puudus võimalus määrata veekompleksi ja -pideme piir.

Puuraukude ja -kaevude andmebaasides esines S-O veepideme puhul kokku 330, O-Ca veekompleksi korral 973, Ca<sub>1</sub>lk-In veepideme 476, Ca-V veekompleksi 373 ja aluskorra 72 nii kihistute kui ka liitkihistute kirjet.

Kirjed filtreeriti (Excel *filter*) eraldamaks andmetest kirjed, mis ei määra üksuse kõige ülemist lasumi sügavust. Välja filtreeritud kirjeid ei kasutatud kihtide loomisel. Lõplike puurkaevude ja -aukude hulk, mida kihi interpoleerimiseks kasutati, on välja toodud tabelis 2. Kihi lasumissügavuse absoluutse kõrguse arvutamiseks puuraugus lahutati maapinna absoluutkõrgusest lasumi sügavus.

Seejärel loodi iga kihi lasumi kõrguspunktidest koos puuraugu asukoha koordinaatidega .csv formaadis tekstifail, mis seejärel konverteeriti programmiga QGIS .shp formaadis vektorfailiks.

Aluspõhja ja aluskorra rasterpindade loomisel kasutati peale puurkaevude ja -aukude andmete ka geoloogiliste kaartide (Mardla 1995a; 1995b) samakõrgusjooni. Kaardid georefereeriti (QGIS tööriist *georeferencer*) ja isojooned digitaliseeriti käsitsi ning väärtustati atribuutidega. Seejärel viidi joonefail üle punktformaati. Saadud punktandmed liideti puurkaevude ja -aukude kihile (QGIS tööriist *merge vector layers*).

### **2.1.2 Rasterpindade interpoleerimine ja 3D-mudeli loomine**

Rasterpindade loomiseks kasutati silutud triangulatsioonipõhist interpoleerimist (QGIS tööriist *Thin plate spline (tin)*). Selle käigus luuakse kõigepealt TIN-mudel, mille andmepunktide vahelist ala silutakse seejärel splaini põhimõttel. Võttes aluseks lihtsa TIN-mudeli, on splainidega silutud mudelil sujuvamad pinnad. (Remm jt 2012) Interpoleeritud kihtide avamuste

piirid on saadud hüdrogeoloogiliste üksuste piirpindade ja aluspõhja reljeefi lõikejoonena. Rasterpinnad genereeriti pikslisuurusega 100 m.

Reljeefi rastermodeli koostamiseks liideti (QGis tööriist *Merge*) LiDAR-andmete ning merepõhja batümeetria andmete alusel interpoleeritud kihid.

Kuna 3D-mudeli loomisel ei tohi uuringuala ulatuses esineda ilma väärtuseta pikseid, siis lisati aluspõhja kihile väljaspool avamuse piiri aluskorra väärtused. O-Ca, Ca-V veekompleksi ning S-O ja Ca<sub>1</sub>lk-ln veepideme kihtide väärtusteta pikslid asendati aluspõhja või väljaspool aluspõhja avamust aluskorra väärtustega.

Rasterpindadest loodi 3D-mudel (QGis tööriist *Qgis2threejs*). Et kattuvad pinnad jääksid mudelis korrektselt, nihutati samaseid kihi punkte vajadusel 0,1 m võrra madalamale (QGis tööriist *Raster Calculator*), kasutades valemit  $(a < (b + 0,1)) \times (a - 0,1) + (a > (b + 0,1)) \times b + (a = (b + 0,1)) \times b$ , kus  $a$  tähistas ülemist rasterkihti ning  $b$  ülemist rasterkihti.

### **2.1.3 Andmevigade töötlemine**

Esmase interpoleerimise käigus ilmneseid ka puurkaevud ja -augud, milles analüüsitava hüdrogeoloogilise üksuse lasumi sügavus oli võrreldes ümberkaudsete puurkaevude või -aukudega anomaalne, see tähendab märgatavalt suurem või väiksem. Põhjuste analüüsimiseks võrreldi andmebaasis olevate anomaalsete puurkaevu- või aukude lasumite sügavuste kirjeid ümberkaudsete puurkaevude- ja aukude omadega ning kirjanduses leitavate üksuste lasumite sügavuste ja paksusandmetega. Samuti kontrolliti puurkaevude ja -aukude maapinna absoluutkõrgusi. Vajadusel eemaldati anomaalsed puurkaevud või -augud ja loodi uus interpoleeritud kiht.

### **Ca-V veekompleks**

Uuringualal kuulub Ca-V veekompleksi hulka ka Lontova kihistu Sämi kihistik. Kuna tõenäoliselt on paljudes kirjeldustes Sämi kihistikku kirjeldatud osana Lontova kihistust, siis kasutati kihi interpoleerimiseks ainult neid kirjeid, kus oli Sämi kihistik eraldi välja toodud ning neid puurkaeve ja -auke, kus Kotlini lade oli esimeseks lademeks aluspõhjas.

### **Ca<sub>1</sub>lk-ln veepide**

Puurkaev katastri nr 14479. Ca<sub>1</sub>lk-ln veepideme sügavuseks selles puurkaevus on märgitud –29,2 m. Võrreldes ümberkaudsetes puurkaevudes ja -aukudes kirjeldatud kihi sügavusega on see 17–30 m rohkem. Antud puurkaevus on Lükati ja Lontova kihistute paksus kokku 60 m ning sellel lasuv Tiskre kihistu tüsedus 38 m. Antud piirkonnas peaks Lükati ja Lontova kihistute

kogupaksus olema 75–96 m ja Tiskre kihistu 11–20 m tusedune (Suuroja jt 2003). Võimalik, et tegemist on ebatäpse kirjeldusega. See puurkaev on  $Ca_1lk$ -ln veepideme lasuva pinna interpoleerimisest välja jäetud.

Puurkaev katastri nr 1029. Antud puurkaevus on  $Ca_1lk$ -ln veepideme ülemise kihipinna sügavuseks –35,1 m, mis on ümberkaudsete puurkaevude ja -aukudega võrreldes 14–19 m võrra enam. Lontova kihistu paksuseks on antud 39,1 m, mis on poole vähem antud piirkonnas esinema pidavast 65–80 m (Suuroja jt 2003). Kihistu on kirjeldatud kahe eraldi kihina:  $Ca_1ln$  – savi ja liivakivi vaheldumine ja  $Ca_1ln$  – aleuriidikas savi. Võimalik, et tegemist on ebatäpse kirjeldusega. See puurkaev on interpoleerimisest välja jäetud.

Puurkaev katastri nr 942.  $Ca_1lk$ -ln veepideme sügavuseks on –20,5 m, lähimates puurkaevudes on see 1,3–8,5 m. Lontova kihistu on antud piirkonnas aluspõhja esimeseks kihiks ja sellel lasuvad Kvaternaari setted. Lähimate puurkaevude ja -aukude puhul on Kvaternaari settete paksuseks 1–3,1 m, antud puurkaevus aga 30 m. Võimalik, et tegemist on ebatäpse kirjeldusega. Lamava Ca-V veekompleksi sügavuse interpoleerimisel anomaaliat ei tekkinud. See puurkaev on  $Ca_1lk$ -ln veepideme ja aluspõhja lasuva pinna interpoleerimisest välja jäetud.

### **O-Ca veekompleks**

EELIS puurkaevude registris on stratigraafilise indeksiga  $O_1pk$  kirjeldatud nii Pakerordi lademe Türisalu kihistut (diktüoneemakilt) kui ka Kallavere kihistut (liivakivi). Neist Türisalu kihistu kuulub Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme ja Kallavere kihistu liivakivi O-Ca veekompleksi hulka. Sellest tulenevalt eemaldati  $O_1pk$  kirjed, mille geoloogilise läbilõike kirjeldusena oli märgitud diktüoneemakilt või argilliit.

Puurkaev katastri nr 14096 ja 14311. O-Ca veekompleksi sügavuseks nendes puurkaevudes on vastavalt –7,11 ja –9 m, mis on 15–18 m sügavam kui ümberkaudsetes puurkaevudes. Kirjeldatud kihtide paksused ühtivad ümberkaudsetes puurkaevudes kirjeldatud kihtide paksustega. Katastris on mõlema puurkaevu juurde märgitud maapinna absoluutkõrguseks 10 m, samas on ümberkaudsete puurkaevude ja LIDAR-andmete kohaselt selles piirkonnas maapinna absoluutkõrgus natuke üle 40 m. Tõenäoliselt on nende puurkaevude puhul maapinna absoluutkõrgused valesti määratud või on puurkaevude asukohakoordinaadid valed. Need puurkaevud on O-Ca veekompleksi ja ka teiste kihtide lasuvate pindade interpoleerimisest välja jäetud.

## S-O veepide

EELIS puurkaevude registris on stratigraafilise indeksiga O<sub>1</sub>pk kirjeldatud nii Pakerordi lademe Türisalu kihistut (diktüoneemakilt) kui ka Kallavere kihistut (liivakivi). Neist Türisalu kihistu kuulub Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme ja Kallavere kihistu liivakivi O-Ca veekompleksi hulka. Sellest tulenevalt eemaldati O<sub>1</sub>pk kirjed, mille geoloogilise läbilõike kirjeldusena oli märgitud liivakivi.

**Tabel 2.** Kihtide interpoleerimiseks kasutatud üksuste ja nende alajaotiste kirjade arv EELIS puurkaevude (pk) ja Maa-ameti puuraukude (pa) andmebaasides.

Lade/ladekond	Üksus	EELIS puurkaevude andmebaas		Maa-ameti puuraukude andmebaas		Kihi interpoleerimiseks kasutatud pk/pa hulk
		Kirjete hulk	Kirjete hulk peale filtreerimist	Kirjete hulk	Kirjete hulk peale filtreerimist	
Aluspõhi						
Haljala lade	O <sub>3</sub> tt-khV (Tartuse-Kahula Vasavere kihistik)	-	-	1	1	609
Kuksruse lade	O <sub>3</sub> vv (Viivikonna kihistu)	-	-	1	-	
Uhaku lade	O <sub>2</sub> kr (Kõrgekalda kihistu)	-	-	2	1	
Lasnamäe lade	O <sub>2</sub> vä (Väo kihistu)	-	-	8	6	
Kunda lade	O <sub>2</sub> kn (Kunda lade)	-	-	8	-	
	O <sub>2</sub> lb (Loobu kihistu)	-	-	10	2	
	O <sub>2</sub> sl (Sillaoru kihistu Voka kihistik)	-	-	2	-	
	O <sub>2</sub> slV (Sillaoru kihistu Voka kihistik)	-	-	5	-	
O <sub>1</sub> kn-vl (Kunda-Volhovi lademed)		1	1	-	-	
O <sub>1</sub> lt-O <sub>1</sub> -2kn (Leetse-Kunda lademed)		4	3	-	-	
O <sub>1</sub> vl-O <sub>1</sub> -2kn (Volhovi-Kunda lademed)		35	35	-	-	
O <sub>1</sub> -2 (Kesk-, Alam-Ordoviitsium)		1	1	-	-	
O <sub>1</sub> -2kn (Alam-Ordoviitsium - Kunda lade)		12	12	-	-	
O <sub>1</sub> -2tl-kn (Alam-Ordoviitsium - Toila kihistu)		1	1	-	-	
Lisaks kõigi järgnevate kihtide kirjed ja liitkirjed, mis jäid teiste kihtide puhul analüüsist välja (tabel 3).						
Siluri-Ordoviitsiumi veepide						
Billingeni lade	O <sub>1</sub> -2tl (Toila kihistu)	5	5	15	15	268
Hunneberg lade	O <sub>1</sub> lt (Leetse kihistu)	234	227	17	2	
	O <sub>1</sub> vr-lt (Varangu - Leetse kihistud)	15	13	-	-	
	O <sub>1</sub> tr-lt (Türisalu - Leetse kihistud)	4	4	-	-	
Varangu lade	O <sub>1</sub> vr (Varangu lade)	20	2	1	-	
Pakerondi lade	O <sub>1</sub> tr (Türisalu kihistu)	5	-	14	1	
Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks						
Pakerondi lade	O <sub>1</sub> pk (Pakerordi lade)	77	39	-	-	357
	Ca <sub>3</sub> -O <sub>1</sub> PK (Pakerordi lade)	-	-	3	2	
	C <sub>1</sub> ts- O <sub>1</sub> pk (Pakerordi lade)	546	203	-	-	
	Ca <sub>3</sub> -O <sub>1</sub> kl (Pakerordi lade)	2	-	13	13	
	C <sub>1</sub> pr-O <sub>1</sub> pk (Pakerordi lade)	46	13	-	-	
	C <sub>3</sub> -O <sub>1</sub> kl (Kallavere, Tsikre, Ülgase kihistud)	6	4	-	-	
	Ca <sub>3</sub> ül-O <sub>1</sub> kl (Ülgase - Kallavere kihistud)	-	-	2	2	
	O <sub>1</sub> kl-C <sub>1</sub> ts (Kallavere - Tiskre kihistud)	2	-	-	-	
	O <sub>1</sub> pkK-C <sub>1</sub> ts (Kallavere - Tiskre kihistud)	6	1	-	-	
	C <sub>1</sub> ts-C <sub>3</sub> ül (Tiskre - Ülgase kihistud)	4	1	-	-	
	O <sub>1</sub> kl (Kallavere kihistu)	4	-	-	-	
	C <sub>1</sub> ül (Ülgase kihistu)	8	-	26	18	
	O <sub>1</sub> pkT (Tsikre kihistu)	8	8	-	-	
	O <sub>1</sub> vr-pkT (Vergale lade - Tsikre kihistu)	2	-	-	-	
	O <sub>1</sub> pk-vr (Pakerordi - Vergale lademed)	1	1	-	-	
Vergale lade	O <sub>1</sub> vr (Vergale lade)	20	2	-	-	
Dominopoli lade	C <sub>1</sub> ts (Tiskre kihistu)	144	42	41	6	
	C <sub>1</sub> pr (Pirita lade praegune Dominopoli lade)	12	1	-	-	
Lükatil-Lontova veepide						
Dominopoli lade	Ca <sub>1</sub> lk/C <sub>1</sub> lk (Lükatil kihistu)	53	43	30	30	312
Lontova lade	C <sub>1</sub> ln-lk (Lükatil - Lontova kihistud)	19	17	-	-	
	Ca <sub>1</sub> ln/C <sub>1</sub> ln (Lontova kihistu)	317	192	6	3	
	C <sub>1</sub> lnM-lnt (Lontova Tammneeme - Mahu kihistikud)	1	1	-	-	
	Ca <sub>1</sub> lnM-K (Lontova Kestla - Mahu kihistikud)	3	-	47	4	

Kambriumi-Vendi veekompleks						
Lontova lade	Ca1InS (Sämi kihistik)	5	5	42	42	56
Kotlini lade	V <sub>2</sub> (Ediacara ladestu)	1	-	9	1	
	V <sub>2</sub> kr (Kroodi kihitkond)	-	-	2	2	
	V <sub>2</sub> kt-vr (Voronka - Kotlini kihistud)	7	-	-	-	
	V <sub>2</sub> vr (Voronka kihistu)	61	2	1	-	
	V <sub>2</sub> gd-vr (Voronka- Gdovi kihistud)	86	1	-	-	
	V <sub>2</sub> kt (Kotlini kihistu)	23	-	50	-	
	V <sub>2</sub> gd-kt (Kotlini - Gdovi kihistud)	2	-	-	-	
	V <sub>2</sub> gd (Gdovi kihistu)	81	2	3	1	
Aluskord						
Proterosoikum	PP	-	-	55	55	72
	PR <sub>1</sub>	16	16	-	-	
	Ar+PR <sub>1</sub>	1	1	-	-	

**Tabel 3.** Kihtide liitüksuste kirjeid, mille puhul oli kaks või enam ladet või kihti ühendatud ühte kirjesse, millest tulenevalt ei olnud võimalik eristada veekompleksi ja -pidet. Need kirjed eemaldati edasisest analüüsist (v.a aluspõhi).

Üksus	Kirjed EELIS puurkaevude andmebaasis	Kirjed Maa-ameti puuraukude andmebaasis
Siluri-Ordoviitsiumi veepide		
O <sub>1</sub> lt-vl	12	
O <sub>1</sub> vl	45	
O <sub>1</sub> vl-kn	3	
O <sub>1</sub> vl-lt	2	
O <sub>1</sub> vl-ls	1	
O <sub>1</sub> vl-O <sub>1</sub> kn	1	
Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleks		
O <sub>1</sub> -2tl		15
Ca <sub>3</sub> -O <sub>1</sub> kl-tr		2
C <sub>1</sub> lk-ts	20	
C <sub>1</sub> ln-pr	2	
C <sub>1</sub> ln-ts	8	
O <sub>1</sub> vr-lt	14	
C <sub>1</sub> ts-lk	1	
Clts	1	
O <sub>1</sub> lt+pkT	1	
O <sub>1</sub> lt-O <sub>1</sub> pk	9	
O <sub>1</sub> lt-O <sub>1</sub> pkT	4	
O <sub>1</sub> lt-pk	31	
O <sub>1</sub> pk-C <sub>1</sub> lk	1	
O <sub>1</sub> pk-lt	200	
O <sub>1</sub> pk-O <sub>1</sub> -2kn	3	
O <sub>1</sub> pk-vl	12	

Üksus	Kirjed EELIS puurkaevude andmebaasis	Kirjed Maa-ameti puuraukude andmebaasis
Lükati-Lontova veepide		
C <sub>1</sub> lk-O <sub>1</sub> pk	13	
C <sub>1</sub> ln-pr	2	
C <sub>1</sub> lk-ts	20	
C <sub>1</sub> ts-lk	1	
C <sub>1</sub> ln-ts	8	
C <sub>1</sub> ln-V <sub>2</sub> vr	1	
Kambriumi-Vendi veekompleks		
V <sub>2</sub> -Ca <sub>1</sub> lk		1
C <sub>1</sub> ln-V <sub>2</sub> vr	1	
V <sub>2</sub> -C <sub>1</sub> ln	1	
V <sub>2</sub> gd-C <sub>1</sub> ln	23	
V <sub>2</sub> vr-C <sub>1</sub> ln	22	

## 2.2 Tunnelitrassid

Bakalaureusetöö käigus loodud 3D-mudeli põhjal valmis Tallinna-Helsinki tunneli trajektooride hüdrogeoloogilise ehituse kirjeldus ja selgitati välja erinevate tunnelitrasside ehitustöödest enim mõjutatavad puurkaevud. Analüüsis kasutati Finest Bay Area Development OÜ poolt Eesti riigile esitatud hoonestusloa ja riikliku eriplaneeringu menetluste algatamise taotlustes välja toodud nelja võimalikku raudteetunneli trassi: Finest Bay Area (VE1a, VE1b ja VE1c) ja FinEst Link (VE2) (Taotlus riigi ... 2018). Dokumentides esitatud trassivariantide kaart georefereeriti (QGis tööriist *georeferencer*) ja sellele lisati Veeseaduse (2019) kohaselt puurkaevudele sätestatud sanitaarkaitsealad Maa-ameti kitsenduste algandmetena seisuga 01.01.2019.

Raudteetunneli trasside ehituslaiuseks on 70–100 m ja koos raudtee kaitsevööndiga (hõlmates raudteealuse ala ja ulatudes rööpme teljest 30 m kaugusele) kokku 130–160 m (Taotlus riigi ... 2018). Trassidele jäävate puurkaevude sanitaarkaitsealade leidmiseks joonistati käsitsi georefereeritud trasside profiilijooned. Lähtudes kõige laiemast võimalikust raudteetunneli ehituslaiusest loodi joontele 80 m laiused puhvrid (QGis tööriist *kindla kaugusega puhver*). Seejärel leiti trassidega lõikuvad sanitaarkaitsealad (QGis tööriist *valik asukoha järgi*).

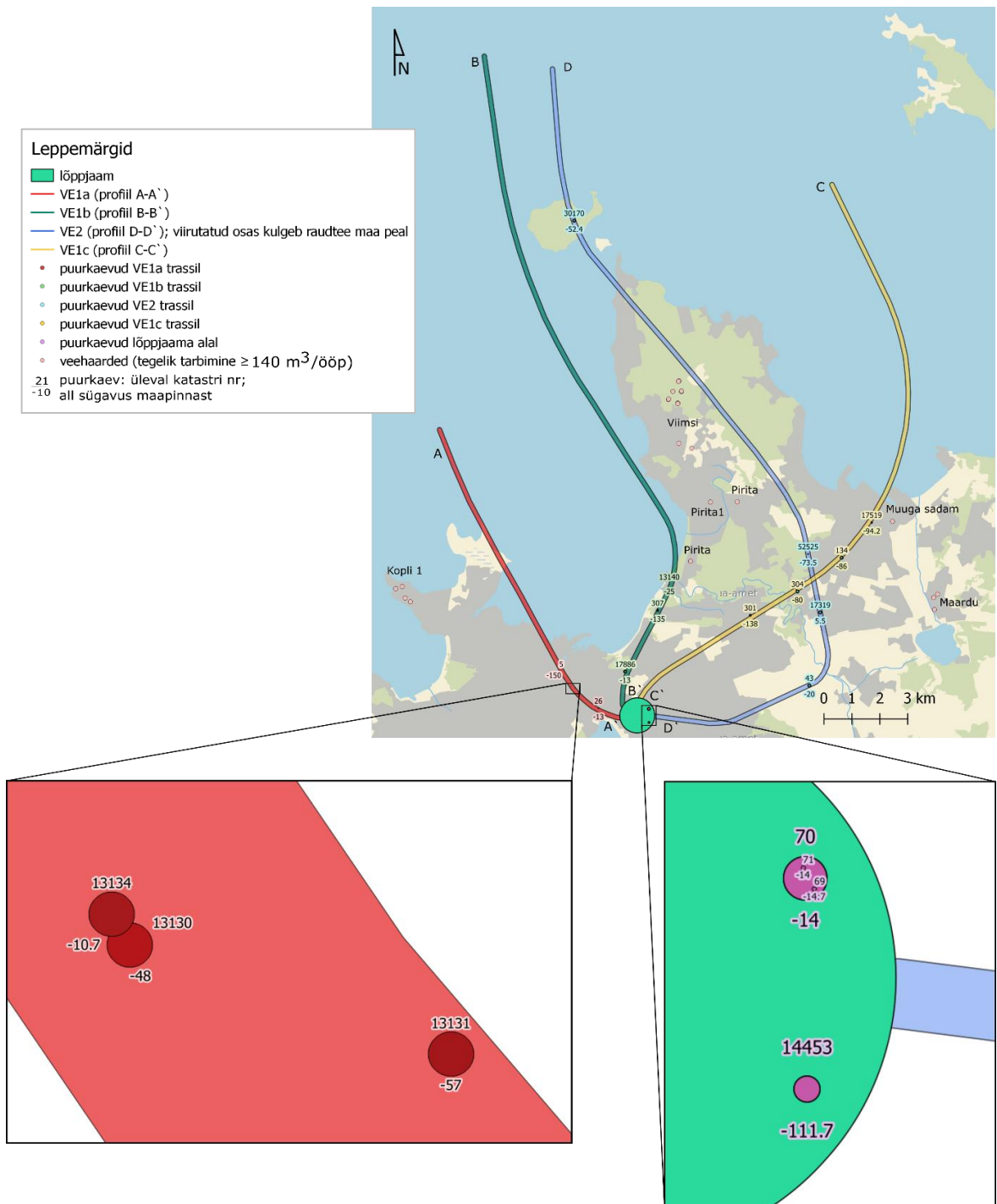
Joonisel 3 on välja toodud piki tunnelitrasse joonistatud profiilijooned, mille põhjal valmisid hüdrogeoloogilised läbilõiked. VE1a korral kulgeb trass Paljassaare poolsaare idapoolse külje juurest ning suundub seejärel Tallinna vanalinna läänepoolsest servast Tallinna lennujaamani. VE1b möödub merealal Aegna saare ja Viimsi poolsaare läänepoolsest küljest ning seejärel kulgeb piki Piritat ja Lasnamäed Tallinna lennujaamani. VE1c puhul liigub raudteetrass veealal mööda Viimis poolsaare idapoolsest küljest ja suundub Muuga sadamalahelt Tallinna lennujaamani. VE2 korral kulgeb tunnelitrass läbi Aegna saare ja Viimsi poolsaare keskosa Iru ristmikuni ja sealt Tallinna lennujaamani. (Taotlus hoonestusloa ... 2018)

Töö käigus valmisid autori interpretatsiooni tulemusel tunnelitrasside võimalikud kulgemistrajektorid maapõues, arvestades avaldustes kirjeldatud tingimusi. Selleks võeti arvesse, et tunnel kulgeb kuni aluspõhja avamuseni –150 m sügavusel aluskorras ja seejärel tõuseb Lontova lademeni (sinisavi) ning, olenevalt tunnelitrassist, säilitab oma sügavuse kuni lõppjaamani või tõuseb ettenähtud kohas maapinnale. Maksimaalne raudteetunneli kalle võib olla 2% (AINS Group 2018). Seega iga 100-meetrise horisontaalse tunnelilõigu kohta on tõus 2 meetrit. Kuna tunneli sügavus enne tõusu algust on –150 m ja sinisavid lasuvad –30 kuni



–40 m sügavusel, on tunneli vertikaalse tõusu amplituud 120 m ja sellest tulenevalt kogu horisontaalne lõik, mille jooksul tõus toimub, 6 km pikkune  $[(120 \text{ m} \times 100 \text{ m}) / 2 \text{ m}]$ .

Tunnel säilitab –30 kuni –40 m sügavuse kuni lõppjaama jõudmiseni VE1a, VE1b ja VE1c alternatiivide korral. VE2 trassi puhul tõuseb raudteetunnel Iru lähistel maapinnale ja kulgeb edasi mööda maapinda (*Helsinki-Tallinn Transport ... 2018; Taotlus riigi ... 2018*).



**Joonis 3.** Tallinna-Helsinki tunnelitrasside hüdrogeoloogiliste läbilõigete profiiljooned. Taustaks Maa-ameti kaart.

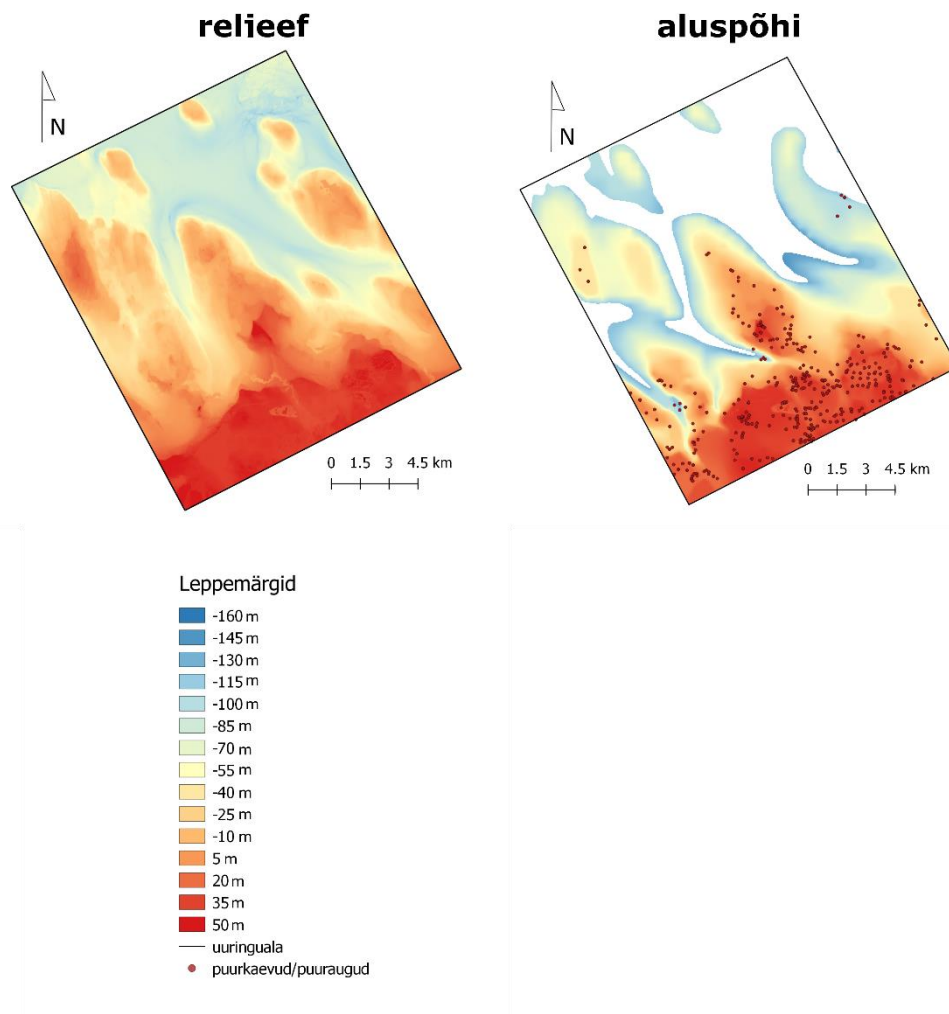
### 3. Tulemused ja arutelu

#### 3.1 3D-mudel

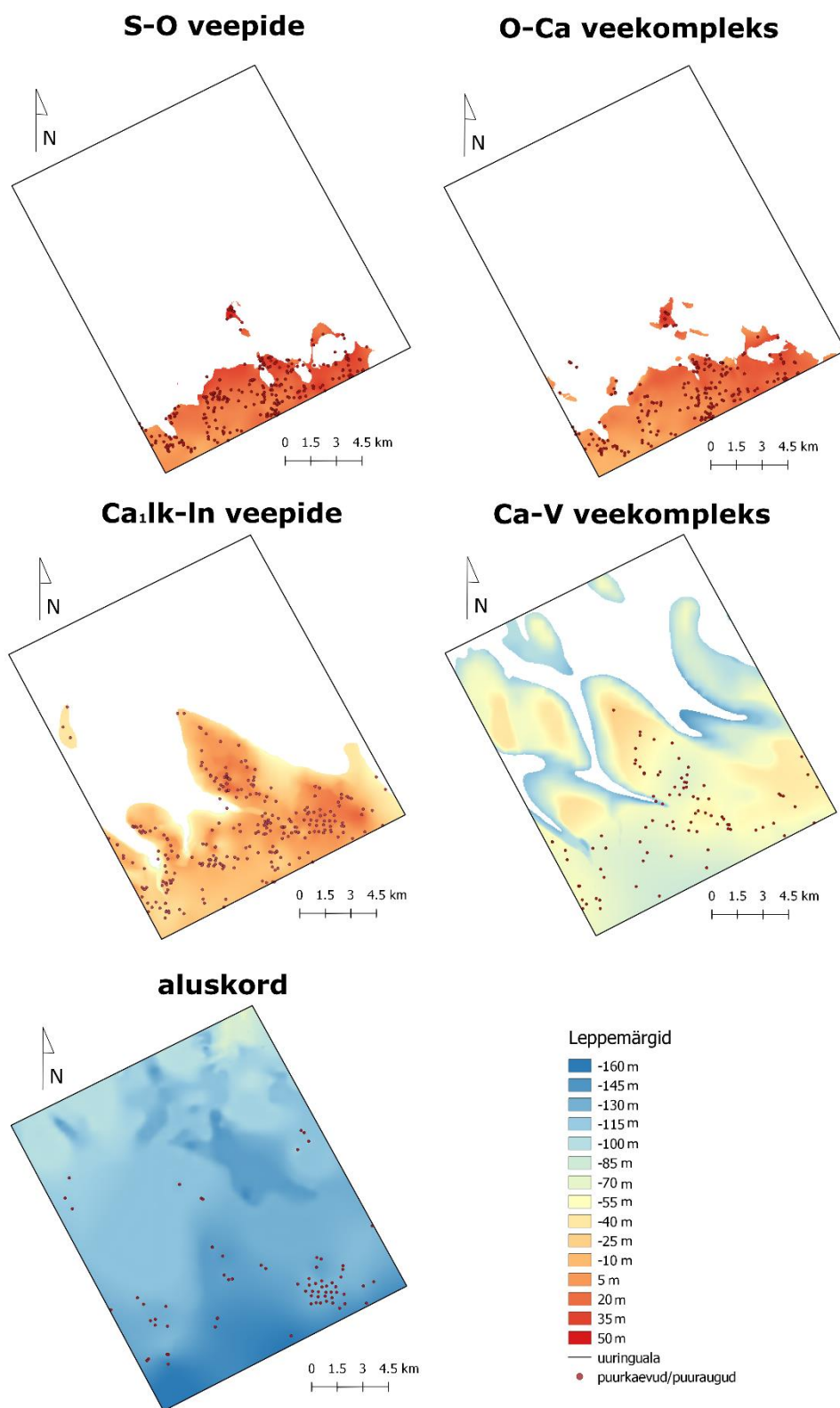
Uuritavast alast loodud 3D-mudel võimaldab näha, kuidas asetsevad ruumis puurkaevud ja millised on veekomplekside ning veepidemete ruumilised piirid. Samuti saab mudelist infot selle kohta, millises põhjaveekihis uuringualal paiknevate puurkaevude avatud osad asetsevad.

Mudeli pindade interpoleerimise aluseks võetud puurkaevude ja puuraukude kirjed võimaldasid suhteliselt hästi leida veepidemete ja -kihtide, samuti aluskorra ning aluspõhja piirpinnad.

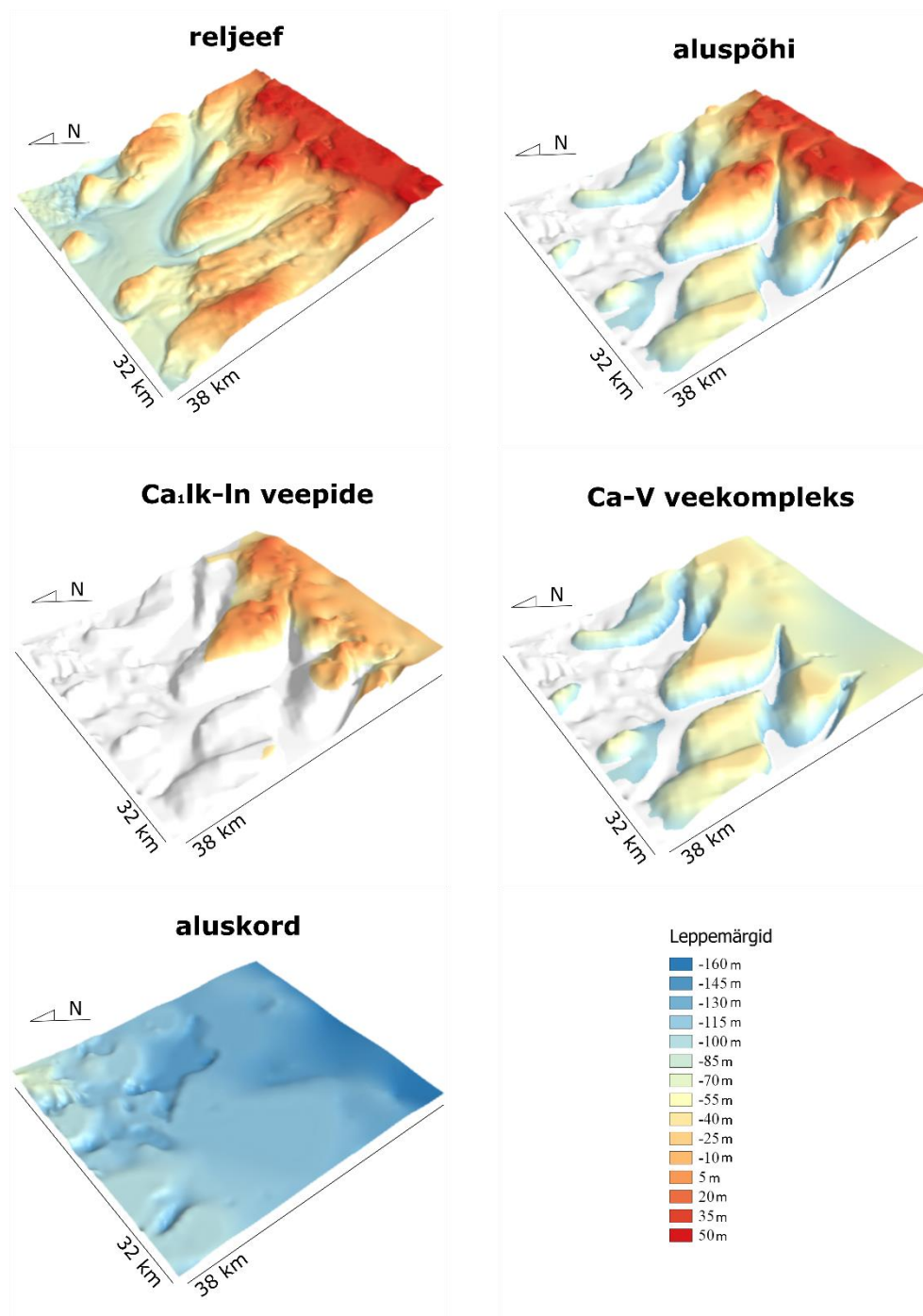
Joonistel 4 ja 5 on välja toodud interpoleeritud kihtide piirpinnad koos kõikide interpoleerimiseks kasutatatud puurkaevude ja -aukude asukohtadega. Joonisel 6 on esitatud reljeefi, aluspõhja,  $Ca_{ilk}$ -ln veepideme,  $Ca-V$  veekompleksi ja aluskorra piirpindade 3D visualiseering.



**Joonis 4.** Reljeefi ja aluspõhja interpoleeritud lasuvad piirpinnad.



**Joonis 5.** Siluri-Ordoviitsiumi veepideme, Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksi, Lükati-Lontova veepideme, Kambriumi-Vendi veekompleksi ja aluskorra interpoleeritud lasuvad piirpinnad.



**Joonis 6.** Interpoleeritud lasuvate piirpindade 3D visualiseeringud. Vertikaalne ülekõrgendus 30.

Kristalse aluskorra pealispind lasub uuringualal 96–157 m allpool merepinda, laskudes lõuna suunas 2–3 m kilomeetri kohta. Sellel lasub Ca-V veekompleks, mille moodustavad Kotlini lademe liivakivid ja aleuoliidid ning Lontova lademe Sämi kihistiku liivakivid. Veekompleksi piirpind lasub 26–93 m merepinnast allpool 60–80 m paksuse kihina, Prangli saarel osati veekompleks puudub. Ca.lk-In veepideme sinisavi ja aleuoliidi paksuseks uuringualal on kuni

75 m ja see lasub –30 kuni 20 m merepinna suhtes. O-Ca veekompleks lasub –10 kuni 20 m sügavusel, kihi paksuseks on 15–35 m. S-O regionaalse veepideme tuseduseks on 3–12 m ja see lasub 6–30 m sügavusel. Aluspõhja reljeefis joonistub hästi välja Soome lahe rannikumadalik põhjas ja Põhja-Eesti lavamaa lõunas, mida ääristab Kroodi oru ja Suurupi poolsaare vahelisel alal Põhja-Eesti paekallas (Suuroja jt 2003). Samuti on jälgitavad Viimsi ja Kopli poolsaarte läheduses paiknevad ürgorud.

Kogutud andmed ja nende põhjal valminud 3D-mudel võimaldab lisaks kaardipildis asukohavalikule leida Tallinna-Helsinki raudteetunneli parim paiknemine vertikaalis. Sellest lähtuvalt tekivad igale horisontaalsele trassialternatiivile juurde vertikaalsed alternatiivid.

Peale selle on võimalik loodud rasterpindasid edaspidi kasutada sisendina uuringualast põhjavee liikumise mudeli ehk hüdrogeoloogilise mudeli loomiseks.

### **3.2 Tunnelitrasside analüüs**

Selleks et mõista, kuidas kulgeb Tallinna-Helsinki tunnel maapõues, loodi töö autori poolt hüdrogeoloogilised läbilõiked piki trasside trajektoore. Joonisel 3 on välja toodud tunnelitrasside hüdrogeoloogiliste läbilõigete profiiljooned. Hüdrogeoloogilised läbilõiked (Joonised 7 ja 8) on joonistatud alates aluspõhja avamuse piirist, kuna enne seda kulgeb tunnel mere all paiknevates aluskorra kivimites –150 kuni –200 m sügavusel ja hüdrogeoloogiliselt sellel alal tähtsus puudub.

Samuti on oluline teada, kui palju ja millise töötava osa sügavusvahemikega puurkaevud tunneli trajektoorile jäävad. Selleks märgiti hüdrogeoloogilistele läbilõigetele tunnelitrassidele jäävad puurkaevud ja nende töötavate osade asukohad. Trassidele ja lõppjaama alale jäävad puurkaevud koos omanike ja veevõtu andmetega on eraldi välja toodud tabelis 4.

**Tabel 4.** Tunnelitrassidele jäävad puurkaevud. Tabeli koostamisel on kasutatud Keskkonna-agentuuri (KAUR 2017) ja kinnitatud põhjaveehaarete (Keskkonnaministeerium 2016) algandmeid. Tegelik põhjaveevõtu andmed käivad 2017. aasta kohta, kui ei ole märgitud teisiti.

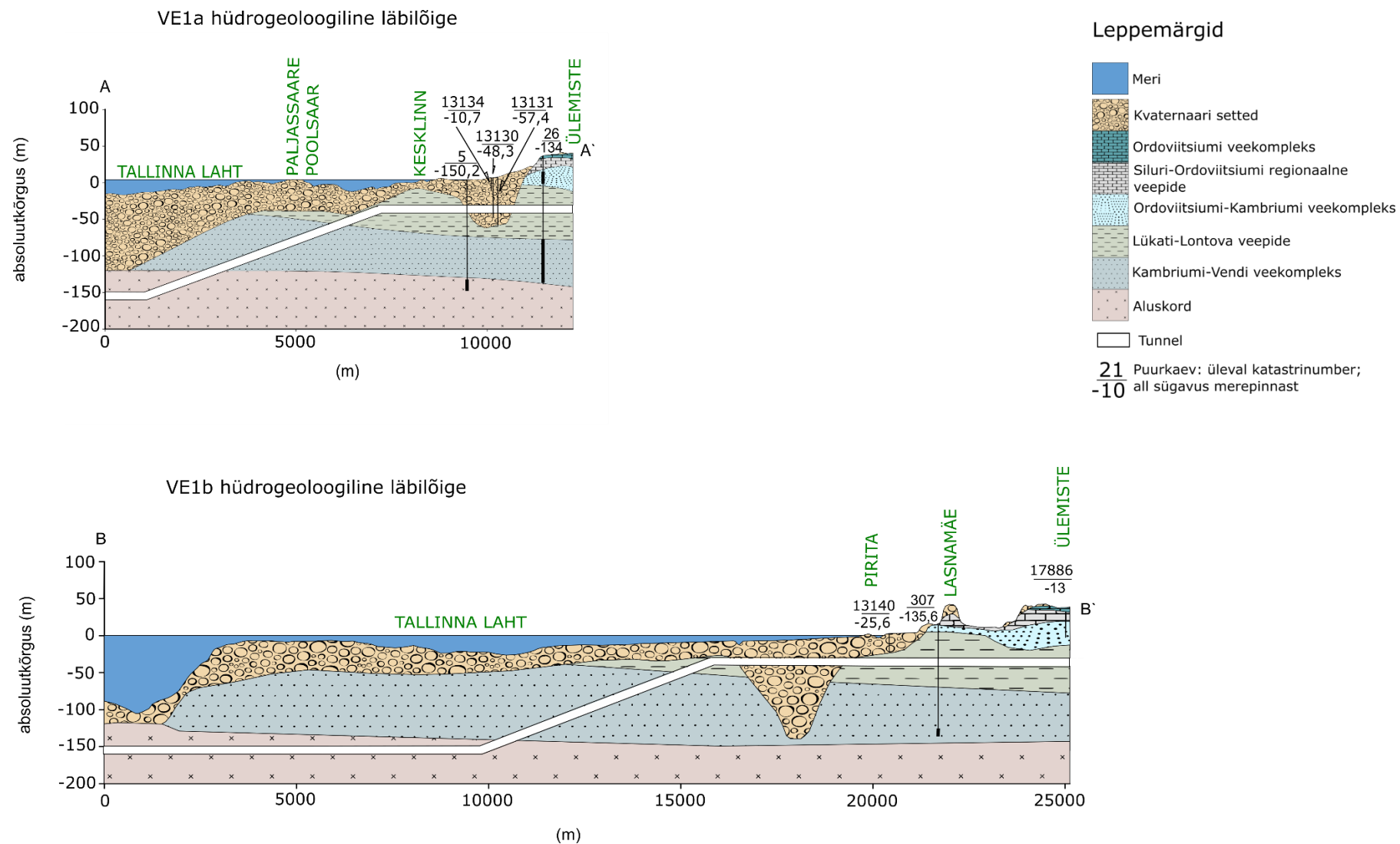
Puurkaevu katastri nr	Kasutamise otstarve	Sügavus (m)	Veekompleks	Sanitaarkaitse-ala ulatus (m)	Omanik	Veehaarde põhjavee-varu kogus (m³/ööp)	Tegelik põhjaveevõtu kogus (m³/ööp)
<b>VE1a</b>							
<b>26</b>	puurkaev olmevee saamiseks	176	Kambriumi-Vendi	5	-	-	-
<b>13131</b>	hüdrogeoloogilise uuringu puurkaev	65,9	Kvaternaari	-	-	-	-
<b>13130</b>	hüdrogeoloogilise uuringu puurkaev	55	Kvaternaari	-	-	-	-
<b>13134</b>	hüdrogeoloogilise uuringu puurkaev	18	Kvaternaari	-	-	-	-
<b>5</b>	puurkaev olmevee saamiseks	153,4	-	2	-	-	-
<b>VE1b</b>							
<b>17886</b>	puurkaev olmevee saamiseks	35	Ordoviitsiumi-Kambriumi	50	-	-	-
<b>307</b>	puurkaev olmevee saamiseks	151	Kambriumi-Vendi	30	Tallinna Vesi AS	1 500	0,9
<b>13140</b>	hüdrogeoloogilise uuringu puurkaev	27,4	-	-	-	-	-
<b>VE1c</b>							
<b>301</b>	puurkaev olmevee saamiseks	174	Kambriumi-Vendi	30	Tallinna Vesi AS	3 300	0,2
<b>126</b>	puurkaev olmevee saamiseks	20	Ordoviitsiumi-Kambriumi	10	TREV-2 Grupp AS	-	-
<b>304</b>	puurkaev olmevee saamiseks	110	Kambriumi-Vendi	50	-	-	-
<b>134</b>	puurkaev olmevee saamiseks	100	Kambriumi-Vendi	50	Maardu Vesi AS	7 500	0,1 (2004.a)
<b>17519</b>	puurkaev olmevee saamiseks	99,5	Kambriumi-Vendi	25	Maardu Tehnovõrkudeühistu	4 500	44,8
<b>VE2</b>							
<b>43</b>	puurkaev olmevee saamiseks	55	Ordoviitsiumi-Kambriumi	50	-	-	-
<b>17319</b>	puurkaev olmevee saamiseks	31,5	Ordoviitsiumi-Kambriumi	50	-	-	-
<b>52525</b>	puurkaev olmevee saamiseks	95	Kambriumi-Vendi Voronka	10	eraisik	-	-
<b>30170</b>	puurkaev olmevee saamiseks	60,7	Kambriumi-Vendi	50	-	-	-
<b>Lõppjaam</b>							
<b>70</b>	puurkaev olmevee saamiseks	60	Ordoviitsiumi-Kambriumi	50	-	-	-
<b>69</b>	puurkaev olmevee saamiseks	60	Ordoviitsiumi-Kambriumi	10	Altenberg-Reval AS	-	8,8
<b>71</b>	puurkaev olmevee saamiseks	60	Ordoviitsiumi-Kambriumi	10	Altenberg-Reval AS	-	8,7
<b>14453</b>	puurkaev olmevee saamiseks	157	Kambriumi-Vendi	30	Meriadok OÜ	1 200	4,5

VE1a trassialternatiivi korral kulgeb tunnel kuni aluspõhja avamuseni –150 m sügavusel aluskorras (Joonis 7). Kaks kilomeetrit enne Paljassaare poolsaart hakkab tunnel tõusma, läbides 1,9 km jooksul 38 meetri paksuse aluskorra kihi. Edasi kulgeb tõus läbi Ca-V veekompleksi, mis koosneb Ediacara liivakividest. Tunnel läbib seitsmekümne meetri paksuse kihi 3,5 km-ga. Ca<sub>1</sub>lk-ln veepidemes tõuseb tunnel kuni –30 meetrini, tõus toimub 0,9 km jooksul. Edasi kulgeb tunnel horisontaalselt Lontova lademe sinisavis kuni lõppjaamani. Kesklinna ja Ülemiste vahelisel alal läbib tunnel 1,2 km ulatuses kvaternaarisetetega täidetud ürgoru.

VE1a trassi korral jääb raudteetunneli trajektoorige viis puurkaevu või puurkaevu sanitaarkaitseala, neist neljaga lõikub tunnel ka maapõues. Puurkaevu (katastri nr 5) töötav osa paikneb aluskorras ja määratud sanitaarkaitseala on 2 m raadiusega. Puurkaevu 26, sanitaarkaitsealaga 5 m, töötav osa asub nii Ca-V kui ka O-Ca veekompleksis. Mõlemad puurkaevud on olmevee saamiseks. Ürgorgu jäävaid puurkaeve (13134, 13130, 13131) kasutatakse hüdrogeoloogiliste uuringute tarbeks ja kõik võtavad oma vee Kvaternaari põhjaveekompleksist. Hüdrogeoloogiliste uuringute puurkaevudele sanitaarkaitseala määratud ei ole.

VE1b alternatiivi puhul kulgeb tunnel alates aluspõhja avamusest kaheksa kilomeetrit aluskorras –150 m sügavusel Tallinna lahe all ja tõus algab 12,7 km enne rannajoont (Joonis 7). Tõusu jooksul läbib tunnel 0,8 km ulatuses aluskorda ja 4,8 km ulatuses ligi 100 m paksuse Ca-V veekompleksi. Tõus jätkub Ca<sub>1</sub>lk-ln veepidemes, kus tunnel saavutab sügavuse –30 m. Edasi kulgeb tunnel umbes 10 kilomeetrit horisontaalselt, läbides merealal 2,8 km ulatuses kvaternaarisetetega täidetud ürgoru.

VE1b trassi trajektoorige jääb kolm puurkaevu või puurkaevu sanitaarkaitseala. Puurkaevu 17886 töötav osa asub O-Ca põhjaveekompleksis ja see ei lõiku sügavuses tunneliga. Puurkaevu sanitaarkaitseala raadius on 50 m. Ca-V veekompleksist vett ammutav puurkaev 307, sanitaarkaitsealaga 30 m, lõikub tunneliga ka maapõues. Puurkaev kuulub Tallinna Vesi AS-ile ja põhjavee tarbimine sellest kaevust oli 0,9 m<sup>3</sup>/ööp (KAUR 2017). Põhjaveehaarde (Pirita 1), kuhu antud puurkaev kuulub, kinnitatud põhjaveevaru on 1 500 m<sup>3</sup>/ööp (Keskkonnaministeerium 2016). Tunneli trajektoorige jääva hüdrogeoloogilise uuringu puurkaevu 13140 töötav osa paikneb pinnakattes (kvaternaarisetetes) ning sanitaarkaitseala ei ole määratud. Puurkaev ei lõiku maapõues tunneliga.



**Joonis 7.** Tunnelitrasside VE1a ja VE1b hüdrogeoloogilised läbilõiked. Vertikaalne ülekõrgendus 20.

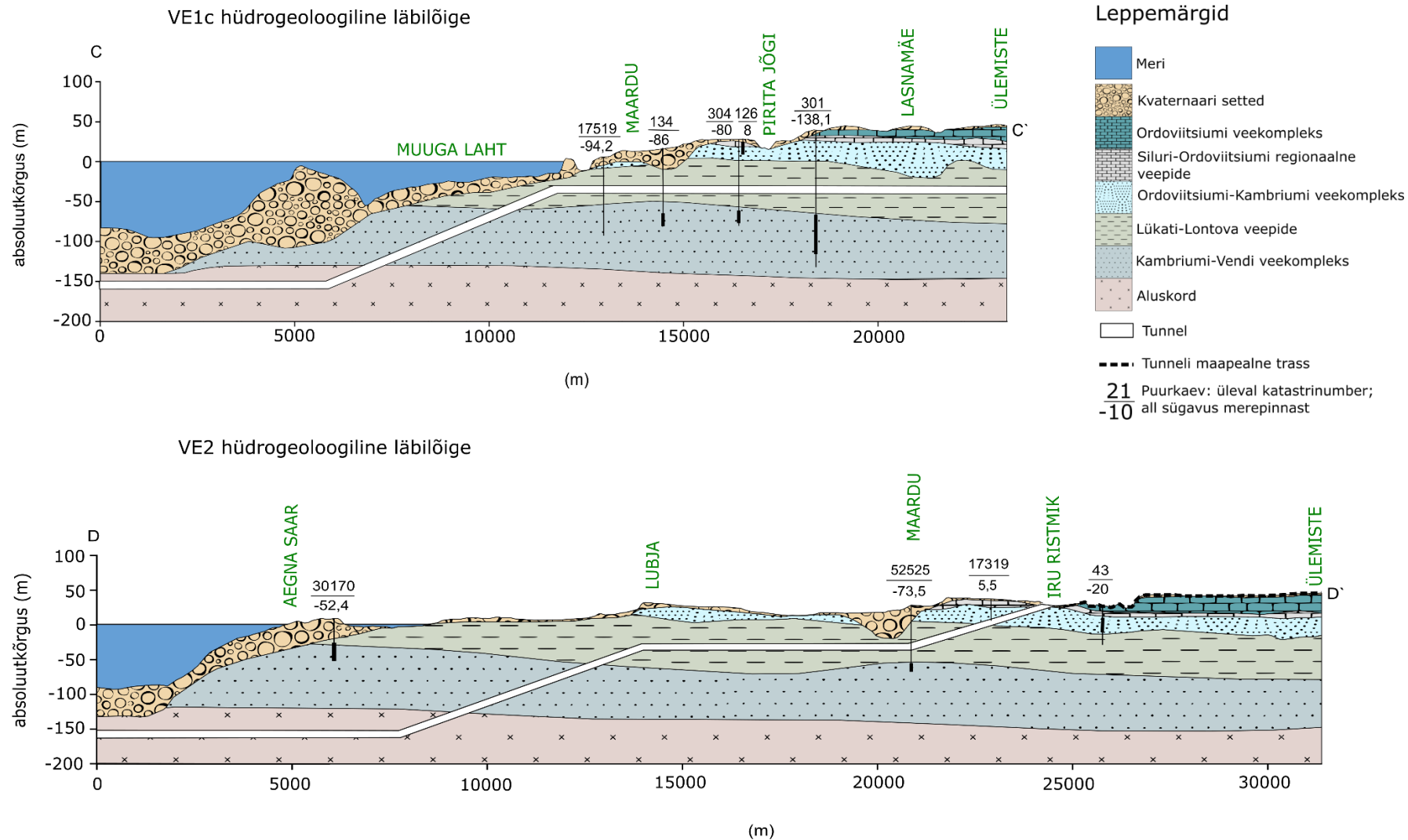


VE1c trassi korral kulgeb tunnel 4 km ulatuses aluspõhja all aluskorras –150 m sügavusel (Joonis 8). Muuga lahe all, 5,8 km enne rannajoont, algab tunneli tõus. Tõusul läbib tunnel 1,3 km ulatuses aluskorda ja 3,7 km pikkuselt 75 meetri paksuse Ca-V veekompleksi. Rannajoone juures saavutab tunnel –30 m sügavuse, jäädes Lontova lademe sinisavidesse, ja säilitab selle kuni lõppjaama jõudmiseni. Tunnel kulgeb horisontaalselt 11,6 km ulatuses Maardu, Lasnamäe ja Ülemiste all.

VE1c trassialternatiivi korral asub tunneli trajektooriga viis puurkaevu sanitaarkaitseala. Neli nendest puurkaevudest (304, 134, 17519, 301) võtavad oma vee Cm-V veekompleksist. Kõik neli puurkaevu on olmevee saamiseks ja lõikuvad tunneliga ka maapõues. Puurkaev 301 kuulub Tallina Vesi AS-le ja põhjavee tegelik tarbimine puurkaevust oli 0,2 m<sup>3</sup>/ööp (KAUR 2017), põhjaveehaarde (Pirita), kuhu puurkaev kuulub, kehtiv põhjaveevaru on 2000 m<sup>3</sup>/ööp (Keskkonnaministeerium 2016). Puurkaevule määratud sanitaarkaitseala raadiusega 30 m. Puurkaev 134, sanitaarkaitseala raadiusega 50 m, kuulub Maardu Vesi AS-le ja puurkaevu tarbimine oli 0,1 m<sup>3</sup>/ööp, kinnitatud varu põhjaveehaardele (Maardu), kuhu puurkaev kuulub, on 260 m<sup>3</sup>/ööp (Keskkonnaministeerium 2016). Puurkaevu 17519 veevõtt oli 44,8 m<sup>3</sup>/ööp (KAUR 2017) ja põhjaveehaarde (Viimsi), kuhu puurkaev kuulub, kinnitatud põhjaveevaru 4 500 m<sup>3</sup>/ööp (Keskkonnaministeerium 2016). Puurkaev kuulub Maardu Tehnovõrkudeühistule ning määratud sanitaarkaitseala raadius on 25 m. Puurkaevu 304 sanitaarkaitseala raadiuseks on 50 m. TREV-2 Grupp AS-le kuuluva puurkaevu 126, sanitaarkaitsealaga 10 m, töötav osa asub O-Ca põhjaveekihi. Puurkaev ei lõiku tunneliga maapõues.

VE2 puhul kulgeb tunnel Aegna saare alt kuni Viimsi poolsaareni –150 m sügavusel aluskorras (Joonis 8). Ligikaudu 600 meetrit enne Viimsi poolsaart algab tunnelitõus. Tõus läbib 1,5 km pikkuselt aluskorda ja 3,8 km ulatuses Ca-V põhjaveekompleksi ligi 75 m paksuse kihi. Lubja küla all saavutab tunnel –30 sügavuse. Tunnel kulgeb edasi horisontaalselt kuni Maarduni ja hakkab sealt edasi tõusma maapinnale. Selle tõusu käigus läbib tunnel veel ligi kahe kilomeetri ulatuses Ca<sub>1</sub>lk-ln veepidet, 1,3 km ulatuses O-Ca veekompleksi ja poole kilomeetri pikkuselt Siluri-Ordoviitsiumi regionaalset veepidet. Iru ristmiku lähistel tõuseb raudteetrass maapinnale ja kulgeb kuni lõppjaamani maa peal.

VE2 trassi trajektooriga jääb neli puurkaevu sanitaarkaitseala. Kahe puurkaevu (katastri nr. 43, 17319) töötav osa asub O-Ca põhjaveekompleksis. Mõlema puurkaevu sanitaarkaitseala raadiuseks on määratud 50 m. Ülejäänud kahe puurkaevu (52525, 30170) töötav osa paikneb Ca-V põhjaveekompleksis. Puurkaevu 52525, sanitaarkaitseala raadiusega 10 m, omanikuks on



**Joonis 8.** Tunnelitrasside VE1c ja VE2 hüdrogeoloogilised läbilõiked. Vertikaalne ülekõrgendus 20.

märgitud eraisik. Puurkaevu 30170 sanitaarkaitseala on 50 m. Kõiki nelja puurkaevu kasutatakse olmevee saamiseks. Maapõues lõikuvad tunneliga puurkaevud 52525 ja 17319, puurkaev nr 30170 jääb alale, kus raudteetrass kulgeb mööda maapinda, ning puurkaev nr 43 asub tunneli kulgemissügavusest kõrgemal.

Lõppjaama alale, mille sügavus on esialgsete andmete kohaselt –30 kuni –60 meetrit, jääb kokku neli töötavat puurkaevu. Kolme puurkaevu (katastri nr 70, 69, 71) töötav osa paikneb O-Ca veekompleksis ning kõik on mõeldud olmevee saamiseks. Kaks neist (69, 71) kuuluvad Altenberg-Reval AS-ile ja neile määratud sanitaarkaitseala ulatuseks on 10 m. Puurkaevude tarbimine oli vastavalt 8,8 ja 8,7 m<sup>3</sup>/ööp (KAUR 2017). Puurkaevu 14453, sanitaarkaitseala raadiusega 30, töötav osa asub Ca-V veekompleksis. Meriadok OÜ-le kuuluva puurkaevu tarbimine oli 4,5 m<sup>3</sup>/ööp (KAUR 2017) ja kinnitatud põhjaveevaru põhjaveehaardele (Lasnamäe), kuhu antud puurkaev kuulub on 1 200 m<sup>3</sup>/ööp (Keskkonnaministeerium 2016).

Ükski neljast tunnelitrassi alternatiivist ei lõiku puurkaevudega, mille tegelik tarbimine oleks väga suur (Joonis 3). Enamuses jäävad trassidele eraomanike või eraettevõtete olmevee saamiseks mõeldud puurkaevud, mida on vähese vee tarbimise tõttu ilmselt võimalik üldveevõrku ühendada. Samuti jäävad kahele trassialternatiivile hüdrogeoloogilisteks uuringuteks mõeldud puurkaevud, mida on, võttes arvesse Tallinna-Helsinki tunneli projekti üldist suurust, võimalik uutega asendada. Kõige suurema tarbimisega puurkaevud jäävad trassile VE1c, kus Maardu Tehnovõrkudele kuuluva puurkaevu veevõtt oli 44,8 m<sup>3</sup>/ööp, ja lõppjaama alale, kus eraettevõtetele kuuluva kahe puurkaevu vee tarbimine oli ligi 9 m<sup>3</sup>/ööp ja ühe kaudu 4,5 m<sup>3</sup>/ööp.

Tunnel läbib tõusu jooksul olenevalt trassialternatiivi valikust 3,5 – 4,8 km ulatuses Ediacara ladestu liivakivisid, mis on uuringualal tähtsaks põhjaveekompleksiks. Kuna tunnel on mitteläbilaskva struktuuriga, võib see tekitada täieliku või osalise barjääriefekti, mis vähendab põhjaveekompleksi läbilaskvust ja ühenduvust (Vázquez-Suñé *et al.* 2005). Barjääriefekti määratletakse kui maa-alustest ehitistest tingitud veekihi veejuhtivuse vähenemist, tekitades veetaseme muutusi võrreldes looduslike tingimustega (Pujades *et al.* 2012). Barjääriefekti tõttu võib veetase suureneda tunnelist ülesvoolu ja väheneda allavoolu. Põhjaveetaseme alanemine võib kaasa tuua puurkaevude tootlikkuse vähenemise ja suureneva merevee sissevoolu, mille tagajärjel muutub põhjavee keemiline koostis. (Font-Capó 2012)

Trassialternatiivide VE1a ja VE2 korral mõjutab barjääriefekt ilmselt kõige enam põhjavee režiimi kuna tunneli tõus toimub maismaa all. Tõusu läheduses asuvad Kopli 1 veehaare

(VE1a) ja Viimsi veehaare (VE2), mis on peamine Viimsi poolsaare elanike joogivee allikas. VE1b ja VE1c puhul läbib tunnel Ca-V veekompleksi mere all, suurematest veehaaretest kaugemal, seega on tunneli eeldatav mõju piirkonna veevarustusele väiksem. Edaspidiste uuringute käigus on oluline selgitada, kas planeeritav Tallinna-Helsinki raudteetunnel võib tekitada Ca-V põhjaveekompleksi läbides barjaäriefekti ning kui suurel määral võib see mõjutada põhjavee režiimi ja kvaliteeti.

## Kokkuvõte

Aina kasvav linnastumine toob kaasa suureneva maa-aluste ehitiste rajamise, mis võib mõjutada linna all asetsevate põhjaveekihtide režiimi ja kvaliteeti. Põhja-Eestisse kavandatakse Tallinna-Helsinki raudteetunnelit, mis asuks kuni 150 m sügavusel maapõues. Maapõue rajatava tunneli mõju põhjaveele on vajalik uurida nii veevarustuse kui ka veekaitse seisukohalt.

Uurimustöö eesmärgiks oli anda ülevaade uuringuala hüdrogeoloogilisest ehitusest. Selleks loodi QGis programmis 3D-mudel, kasutades seitset interpoleeritud rasterkihti: Siluri-Ordoviitsiumi regionaalse veepideme, Ordoviitsiumi-Kambriumi veekompleksi, Lükati-Lontova veepideme, Kambriumi-Vendi veekompleksi, reljeefi, aluspõhja ja aluskorra lasumite piirpinnad. Rasterkihtide interpoleerimiseks kasutati Maa-ameti LiDAR-kõrgusandmeid ja puuraukude andmebaasi, EELIS puurkaevude andmebaasi, Eesti Geoloogiafondi aluskorra ning aluspõhja geoloogilisi kaarte ja Veeteede Ameti merepõhja batümeetrilisi andmeid. Mudeli loomise käigus õpiti käsitlema QGis analüüsimeetodeid, k.a rasterarvutuste teostamine, rastermudeli interpoleerimine ja geoloogiliste läbilõigete koostamine.

Töö käigus pakuti välja Tallinna-Helsinki tunneli võimalikud kulgemistrajektorid läbi kivimite ja setete (maapõues) ning loodi piki tunnelitrasse hüdrogeoloogilised läbilõiked, kasutades modelleerimise teel valminud piirpindasid. Lisaks analüüsiti tunnelitrassi alternatiivide sobilikkust lähtudes piirkonnas töötavate puurkaevude sanitaarkaitsealadest. Tunnelitrasside asukohad kahemõõtmelisel plaanil saadi Finest Bay Area Development OÜ poolt Eesti riigile esitatud hoonestusloa ja riikliku eriplaneeringu menetluste algatamise taotlustest, tunnelitrasside vertikaalne kulgemine on töö autori interpretatsioon, arvestades taotluses kirjeldatud tingimusi.

Trassile VE1a jääb viis, VE1b kolm, VE1c viis ja VE2 neli puurkaevu või puurkaevu sanitaarkaitseala. Potentsiaalsel lõppjaama alal asetseb neli töötavat puurkaevu. Trassidele jäävad enamuses eraomanike või eraettevõtete olmevee saamiseks mõeldud puurkaevud, mille praegused kasutajad on vähese vee tarbimise tõttu ilmselt võimalik ühendada Tallinna üldveevõrku. Kahel trassialternatiivil olevad hüdrogeoloogiliseks uuringuks mõeldud puurkaevud on samuti võimalik asendada uute puurkaevudega. Kõige suurema tarbimisega puurkaevud jäävad trassile VE1c ja lõppjaama alale. Arvestades trasside teele jäävate puurkaevude arvu, nende reaalselt veetarbimist ning alternatiivide loomise võimalust (ühisveevarustus), ei põhjusta tunneli rajamine Tallinna piirkonnas esmasel analüüsil veevarustusega seonduvaid probleeme.

# **Hydrogeological analysis of potential Tallinn-Helsinki tunnel routes based on the 3D model**

**Marlen Hunt**

## **Summary**

The continuously expanding urbanization will lead to an increase in the construction of underground facilities, which may affect the regime and quality of the urban groundwater. The Tallinn-Helsinki railway tunnel is planned to be built in northern Estonia, which will be located at a depth of up to 150 m in the ground. The impact of the underground tunnel on groundwater must be examined for both water supply and water protection purposes.

The aim of the research was to give an overview of the hydrogeological structure of the study area. For this purpose, a 3D model was created by QGis program, using seven interpolated raster layers: the boundaries between Silurian-Ordovician regional aquitard, the Ordovician-Cambrian aquifer system, the Lükati-Lontova aquitard, the Cambrian-Vendian aquifer system, the ground relief and the upper surfaces of the bedrock and basement rocks. The Estonian Land Board's LiDAR elevation data and borehole database, the EELIS bore wells database, the Estonian Geological Fund's basement and bedrock geological maps and the seabed's bathymetric data of the Maritime Administration were used to interpolate raster layers. During the creation of the model, the methods of analysis in QGis, including the conduction of raster calculations, the interpolation of the raster model and the compilation of geological sections were acquired.

The possible routes of the Tallinn-Helsinki tunnel were proposed through rocks and sediments (in the ground) and hydrogeological cross-sections were created along the tunnel routes using the surface boundaries created by modelling. In addition, the suitability of proposed tunnel routes was discussed considering the sanitary protection zones of the bore wells operating in the area. The locations of the tunnel routes in a two-dimensional plan were obtained from the applications for initiation of the national special plan procedures and for the building permit submitted by Finest Bay Area Development OÜ to the Estonian state. The spatial location of the tunnel routes is the author's interpretation, taking into account the conditions described in the application.

There are five drilled wells or their sanitary protection zones on the VE1a line, three on the VE1b line, five on the VE1c line and four on the VE2 line. There are four groundwater abstraction wells in the potential end station area. Private wells with small water abstraction rates remain on the tunnel routes. The water supply of those owners could be solved by their connection to the central water distribution system of Tallinn. Groundwater monitoring wells on two route alternatives can also be replaced with new ones. The drilled wells with the highest water production remain on the VE1c line and the end station area. Considering the number of wells on the routes, their actual pumping rates and the possibility of creating alternatives (public water supply), the construction of the tunnel in the Tallinn area will not cause remarkable problems in the water supply according to the initial analysis.

## **Tänuavaldused**

Tänan kõiki, kes aitasid kaasa käesoleva bakalaureusetöö valmimisele.

Eriti soovin tänada oma juhendajat Mailet, kes õpetas ja abistas mudeli loomisel. Väga suured tänud ka teistele juhendajatele, Andresele, kelle ideena sündis tunnelitrasside analüüs, ja Ennule, kes aitas sellest tervikliku töö kokku panna.



## Kasutatud kirjandus

AINS Group 2018. Töökoosoleku arutelu, AINS Group inseneride eelhindang.

Amber Group 2019. Digging the FinEst Link: one of the most challenging tunnel projects on Earth. [[https://amberggroup.com/news-events/news/digging-the-finest-link-one-of-the-most-challenging-tunnel-projects-on-earth/?tx\\_news\\_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx\\_news\\_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=ae110a15b48392aca7dd0322684525ef](https://amberggroup.com/news-events/news/digging-the-finest-link-one-of-the-most-challenging-tunnel-projects-on-earth/?tx_news_pi1%5Bcontroller%5D=News&tx_news_pi1%5Baction%5D=detail&cHash=ae110a15b48392aca7dd0322684525ef)] (20.04.2019).

EELIS (Eesti Looduse Infosüsteem): VEKA puurkaevude andmebaas., 2018. [<https://veka.keskkonnainfo.ee/veka.aspx?type=artikkel&id=214457803>] (14.12.2018).

Eiswirth, M., Hötzl, H., Cronin, A., Morris, B., Veselic, M., Bufler, R., et al., (2003). Assessing and improving sustainability of urban water resources and systems. *RMZ- MAterials and Geoenvironment*, 50(1), 117–120.

Font-Capó, J., 2012. Interaction between groundwater and TBM (Tunnel Boring Machine) excavated tunnels.

Helsinki-Tallinn Transport Link. Feasibility Study - Final report., 2018. FinEst Link. [<http://www.finestlink.fi/wp-content/uploads/2018/02/FinEst-link-REPORT-FINAL-7.2.2018.pdf>] (14.04.2019).

Keskkonnaamet 2015. Eesti riikliku keskkonnaseire põhjaveekogumite seire 2014. a aruanne. Põhjaveekogumite paiknemine hüdrogeoloogilises läbilõikes. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn. [[https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/pohjaveekogumid\\_hydrogeoloogilises\\_labiloikes\\_egk\\_2014.pdf](https://www.keskkonnaagentuur.ee/sites/default/files/pohjaveekogumid_hydrogeoloogilises_labiloikes_egk_2014.pdf)] (10.05.2019).

Keskkonnaministeerium 2016. Harjumaa Ordoviitsiumi-Kambriumi ja Kambriumi-Vendi veekihtide Harku, Jõelähtme, Viimsi, Saku valdade ning Tallinna (välja arvatud Nõmme ja Lasnamäe linnaosa) ja Maardu linna põhjaveevarude tarbevaru kinnitamine. Kinnitatud ministri 24.04.2016 käskkirjaga nr 1-2/16/379.

Maa-amet 2018. LiDAR-kõrgusandemed. [[https://geoportaal.maaamet.ee/index.php?lang\\_id=1&page\\_id=607#tab3](https://geoportaal.maaamet.ee/index.php?lang_id=1&page_id=607#tab3)] (16.11.2018).

Maa-amet 2018. Puursüdamike andmebaas. [<http://geoportaal.maaamet.ee/est/Andmed-ja-kaardid/Geoloogilised-andmed/Puursudamikud/Puursudamike-andmebaas-p382.html>] (04.12.2018).

Mardla, A., 1995a. Aluskorra ja aluspõhja geoloogiline kaart. Balti mere šelfiala geoloogiline kaardistamine. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Mardla, A., 1995b. Aluskorra pealispinna reljeefi kaart. Balti mere šelfiala geoloogiline kaardistamine. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Pujades, E., López, A., Carrera, J., Vázquez-Suñé, E., Jurado, A., 2012. Barrier effect of underground structures on aquifers. *Engineering Geology* 145–146, 41–49. DOI: 10.1016/j.enggeo.2012.07.004

Remm, K., Remm, J., & Kaasik, A., 2012. *Ruumiliste loodusandmete statistiline analüüs. Õpik-käsiraamat*. Tartu: Tartu Ülikooli Ökoloogia ja Maateaduste Instituut. [<http://hdl.handle.net/10062/26456>] (04.04.2019).

Savitskaja, L., & Savva, V., 2008. Kambrim-Vendi veekompleksi põhjaveevaru optimaalne kasutusevariant. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Statistikaamet 2014. Prognoositav rahvaarv maakonna, soo ja vanuserühma järgi (aluseks 1. jaanuari 2012 rahvaarv). [[http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RV092&ti=PROGNOOSITAV+RAHVAARV+MAAKONNA%2C+SOO+JA+VANUSER%DCHMA+J%C4RGI+%28ALUSEKS+1%2E+JAANUARI+2012+RAHVAARV%29&path=../Database/Rahvastik/01Rahvastikunaitajad\\_ja\\_kooseis/04Rahvaarv\\_ja\\_rahvastiku\\_kooseis/&lang=2](http://pub.stat.ee/px-web.2001/Dialog/varval.asp?ma=RV092&ti=PROGNOOSITAV+RAHVAARV+MAAKONNA%2C+SOO+JA+VANUSER%DCHMA+J%C4RGI+%28ALUSEKS+1%2E+JAANUARI+2012+RAHVAARV%29&path=../Database/Rahvastik/01Rahvastikunaitajad_ja_kooseis/04Rahvaarv_ja_rahvastiku_kooseis/&lang=2)] (25.01.2019).

Suuroja, K., All, T., Kõiv, M., Morgen, E., Ploom, K., Vahtra, T., & Mardim, T., 2002a. Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 6343 Maardu. Seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Suuroja, K., All, T., Kõiv, M., Mardim, T., Morgen, E., Ploom, K., & Vahtra, T., 2002b. Eesti geoloogiline baaskaart (mõõtkavas 1:50 000). 7321 Prangli. Seletuskiri. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Suuroja, K., All, T., Kaljuläte, K., Kõiv, M., Morgen, E., & Ploom, K., 2003. Baaskaardi Tallinna (6334) ja Rohuneeme (7312) lehe geoloogilis-geofüüsikalise kaardikomplekti koostamine ja digitaalse andmebaasi loomine. Aruanne. Eesti Geoloogiakeskus, Tallinn.

Suuroja, S., Suuroja, K., Ploom, K., Kask, A., Soosalu, H., 2012. Tallinn–Helsinki tunnel soil and bedrock construction conditions. Compilation of a geological database for the possible Tallinn–Helsinki tunnel area. Geological Survey of Estonia. Geological Survey of Estonia, Tallinn.

Taotlus hoonestusloa menetluse algatamiseks, 2018. [<https://adr.mkm.ee/?id=TJA-JVIS-14949>] (24.02.2019).

Taotlus riigi eriplaneeringu algatamiseks, 2018. [<https://adr.rik.ee/ram/dokument/6108138>] (24.02.2019).

Vázquez-Suñé, E., Sánchez-Vila, X., & Carrera, J., 2005. Introductory review of specific factors influencing urban groundwater, an emerging branch of hydrogeology, with reference to Barcelona, Spain. *Hydrogeology Journal*, 13(3), 522–533. DOI: 10.1007/s10040-004-0360-2

Veeseadus. Vastu võetud 11.05.1994, RT I 1994, 40, 655. Viimane redaktsioon RT I, 22.02.2019, 32. [<https://www.riigiteataja.ee/akt/104072017050>] (25.03.2019).

Veeteede Amet 2018. Batümeetrilised merepõhja reljeefi andmed.

Vinni, K. M., 2018. Tallinn-Helsinki tunneli läbindamise puur-lõhketööde parameetrite väljatöötamine sinisavis ja graniidis. Bakalaureusetöö, 2018.

## **Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks**

Mina, Marlen Hunt,

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) minu loodud teose „**Tallinna-Helsinki võimalike tunnelitrasside hüdroteoloogiline analüüs lähtudes 3D mudelist**“, mille juhendajad on Maile Polikarpus, Enn Karro ja Andres Marandi,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.
3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.
4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

*Marlen Hunt*  
**30.05.2019**